

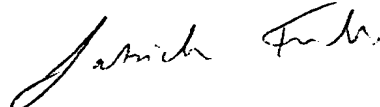
USPS EXPRESS MAIL
EV 511 024 488 US
APRIL 8 2005

10/530914
JC13 Rec'd PCT/PTO 08 APR 2005

Verification of Translation

I, Gabriele Fuchs, residing at Amrumer Str. 7, 90425 Nuremberg, Federal Republic of Germany, hereby declare that I am conversant with the English and German languages and that I am a competent translator thereof. I declare further that, to the best of my knowledge and belief, the foregoing is a true, faithful, complete and accurate translation of PCT International Application PCT/DE03/02960 as filed on September 8, 2003 in the name of Conti Temic microelectronic GmbH, the original of which application has been submitted to me in the German language.

Nuremberg, February, 1, 2005


Gabriele Fuchs

Attorney Docket: 9843

GERMAN TEXT OF PCT/DE 2003/002960 AS FILED SEPT 8, 2003

5

Beschreibung

Verfahren zur Ermittlung des Abstands zwischen zwei Sende-Empfangs-Stationen und Sende-Empfangs-Stationen zur Durchführung des Verfahrens

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Abstands zwischen zwei Sende-Empfangs-Stationen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Sie betrifft weiterhin eine Sende-Empfangs-Station zur Durchführung des Verfahrens.

15 Ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 ist beispielsweise aus der DE 100 19 277 A1 bekannt. Bei diesem Verfahren wird zwischen einem von einem Benutzer bei sich zu tragenden elektronischen Schlüsselmodul und einer in einem Kraftfahrzeug vorgesehenen Auswerteeinheit eine Funkverbin-
20 dung zur Übertragung von Daten aufgebaut, um das Schlüsselmodul anhand einer im Schlüsselmodul gespeicherten Identifikationsnummer zu identifizieren, und das Kraftfahrzeug ggf. zur Benutzung freizugeben. Der Aufbau der Funkver-
25 bindung erfolgt dabei über eine im Schlüsselmodul und eine in der Auswerteeinheit vorgesehene Sende-Empfangs-Station. Um zu verhindern, daß die Funkverbindung über Relaisstationen verlängert wird und das Kraftfahrzeug damit unbe-
merkt vom berechtigten Benutzer zur Benutzung freigegeben wird, wird der Abstand zwischen dem Schlüsselmodul und der Auswerteeinheit ermittelt und die Freigabe des Kraftfahrzeugs verhindert, wenn das Schlüsselmodul sich nicht im Nahbereich der Auswerteeinheit befindet. Die Abstandsermittlung basiert dabei
auf einer Signallaufzeitauswertung der über die Funkverbindung übertragenen Signale.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Ermittlung des Abstands zwischen zwei Sende-Empfangs-Stationen anzugeben, das mit geringem Aufwand durchführbar ist und auf der Auswertung von Signalen basiert, die übli-

cherweise in Kraftfahrzeugen in Schließsystemen zur Fahrberechtigungs- und Zugangskontrolle verwendet werden. Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, eine Sende-Empfangs-Station zur Durchführung des Verfahrens anzugeben:

- 5 Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 bzw. durch die Merkmale des Patentanspruchs 7 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Erfindungsgemäß werden mindestens drei Datentelegramme mit mindestens jeweils einem Datenbit, vorzugsweise mit der gleichen Anzahl von Datenbits, 10 abwechselnd zwischen den Sende-Empfangs-Stationen übertragen. Beim Empfang der Datentelegramme wird jedem Datenbit des betreffenden Datentelegramms zum Zeitpunkt des jeweiligen Datenbits ein Zählerwert entsprechend dem Zählerstand eines freilaufenden Zählers zugewiesen und jedem der mindestens drei Datentelegramme eine Zählsumme als Summe oder Mittelwert der 15 während des Empfangs des betreffenden Datentelegramm ermittelten Zählerwerte zugewiesen. Anschließend werden die Zählsummen durch gewichtete Summation zu einer Summenzahl summiert, die Maß des Abstands zwischen den Sende-Empfangs-Stationen ist.

Vorzugsweise werden die Zählsummen bei der gewichteten Summation jeweils 20 mit einem ihrer Reihenfolge entsprechenden Binomialkoeffizienten gewichtet, wobei die Reihenfolge der Zählsummen vorgegeben ist durch die Reihenfolge der Datentelegramme, denen die Zählsummen jeweils zugewiesen sind.

Vorzugsweise werden Informationen über die in der einen Sende-Empfangs-Station ermittelten Zählsummen als Bestandteil eines Datentelegramms zur jeweils 25 anderen Sende-Empfangs-Station übertragen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens werden vier Datentelegramme zur Abstandsermittlung ausgewertet.

Vorteilhafterweise wird zwischen den übertragenen Datentelegrammen jeweils eine Pause einer vorgegebenen Dauer eingehalten.

5 Eine Sende-Empfangs-Station zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfaßt eine Sende-Empfangsantenne zum Empfangen eines vorzugsweise durch Amplitudenumtastung modulierten Empfangssignals und zum Aussenden eines in gleicher Weise modulierten Sendesignals, eine Empfängeranordnung zur Detektion von Datenbits aus dem Empfangssignal, eine Senderanordnung zum Erzeugen des Sendesignals aus einer Folge von auszusendenden Datenbits, einen in einem vorgegebenen Zeittakt getakteten Zähler zum Erzeugen eines dem Zeitabstand zwischen aufeinanderfolgenden Zählerstandsüberläufen entsprechenden Bittakts, welcher die Zeitpunkte bestimmt, zu denen die auszusendenden Datenbits ausgesendet werden, und ein Register zur Übernahme des Zählerstands des Zählers jeweils zum Zeitpunkt des Empfangs eines Datenbits und zur Bereitstellung des übernommenen Zählerstands als Zählerwert des jeweiligen Datenbits.

15 Vorzugsweise weist die Sende-Empfangs-Station weiterhin einen nach Maßgabe des Bittakts getakteten Pulsweitenmodulator auf, der aus den auszusendenden Datenbits durch Pulsweitenmodulation ein binäres Sendedatensignal erzeugt, aus welchem die Senderanordnung ihrerseits das Sendesignal erzeugt.

20 Vorteilhafterweise weist die Sende-Empfangs-Station einen Schalter auf, über den die Sende-Empfangs-Antenne jeweils entsprechend der gewünschten Übertragungsrichtung entweder mit der Empfängeranordnung oder mit der Senderanordnung leitend verbunden wird.

Vorzugsweise weist die Sende-Empfangs-Station einen Mikrokontroller zur Auswertung der ermittelten Zählerwerte und zur Bereitstellung der von der Sende-Empfangs-Station auszusendenden Datenbits auf.

25 Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich bestens für den Einsatz in Schließsystemen zur Fahrberechtigungs- und Zugangskontrolle für Kraftfahrzeuge. Bei einem derartigen Schließsystem werden Daten zwischen einer im Kraftfahrzeug vorgesehenen Basisstation und einem tragbaren Schlüsselmodul ausgetauscht, um zu prüfen, ob dem Schlüsselmodul eine Zugangsberechtigung und/oder Fahrberichtigung zugeordnet ist und dem Benutzer des Schlüsselmoduls entsprechend der vorliegenden oder nicht vorliegenden Zugangs- oder Fahrberechtigung den Zugang zum Kraftfahrzeug bzw. den Zugriff auf das Kraftfahrzeug zu

30

gewähren oder zu verweigern. Die Datenübertragung erfolgt hierbei über eine Funkverbindung üblicherweise in sogenannten ISM-Bändern bei 433 MHz oder 868 MHz. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht nun zusätzlich zur Zugangs- und Fahrberechtigungskontrolle bei Ausnutzung der gleichen Funkbänder eine Messung des Abstands zwischen dem Schlüsselmodul und der Basisstation. Erzielbar sind dabei Entfernungsauflösungen von wenigen Metern.

Durch die Abstandsmessung ist es möglich, die Zugangs- und Fahrberechtigung zu verweigern, wenn dem Schlüsselmodul zwar eine Zugangs- und Fahrberechtigung zugeordnet ist, sein Abstand zur Basisstation aber so groß ist, daß sich Unbefugte unbemerkt vom berechtigten Benutzer Zugriff zum Kraftfahrzeug beschaffen könnten.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Blockschaltbild einer Sende-Empfangs-Station zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 2 ein Zeitdiagramm eines von der Sende-Empfangs-Station aus Figur 1 ausgesendeten Datentelegramms,

Figur 3 ein Zeitdiagramm zur Darstellung des Kommunikationsablaufs zwischen zwei gemäß Figur 1 ausgeführten Sende-Empfangs-Stationen.

Gemäß Figur 1 umfaßt die Sende-Empfangs-Station eine Sende-Empfangs-Antenne ANT, einen Schalter SW, eine Empfängeranordnung R, eine Senderanordnung T, eine quarzstabile Oszillatoranordnung OSC, einen Zähler MC, ein Register L, eine als Mikrokontroller μC ausgeführte digitale Steuereinheit und einen Pulsweitenmodulator PWM.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden zwei dieser Sende-Empfangs-Stationen benötigt. Diese werden abwechselnd in einem Sendemodus bzw. Empfangsmodus betrieben. Dabei sendet die eine Sende-Empfangs-Station im Sendemodus ein Sendesignal Tx zur anderen Sende-

Empfangs-Station aus, welche gerade im Empfangsmodus betrieben wird und das Sendesignal Tx nach seiner Verzögerung auf dem Übertragungsweg als Empfangssignal Rx empfängt.

5 Der Betriebsmodus der Sende-Empfangs-Stationen wird über die Schalterposition ihres Schalters SW festgelegt und vom Mikrokontroller μC gesteuert.

10 Im Sendebetriebsmodus befindet sich der Schalter SW in der gestrichelt dargestellten unteren Position. In diesem Betriebsmodus erzeugt der Pulsweitenmodulator PWM aus Daten D, die vom Mikrokontroller μC bereitgestellt werden, nach Maßgabe eines Bittakts Tbit ein binäres pulswertenmoduliertes Sendedatensignal DTx. Ein derartiges Signal setzt sich aus einer Folge von Pulsen mit
15 entweder äquidistanten steigenden oder äquidistanten fallenden Pulsflanken zusammen, wobei die Pulse in ihrer Pulsbreite die Bitinformation enthalten, die mit dem jeweiligen Puls übertragen werden soll. Eine derartige Pulsreihe wird nachfolgend als Datentelegramm bezeichnet. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel
20 entspricht ein schmaler Puls der Bitinformation "0" und ein breiter Puls der Bitinformation "1" und die steigenden Pulsflanken sind im Bittakt Tbit voneinander beabstandet. Die Datenbits werden somit nacheinander jeweils nach Ablauf eines Bittakts Tbit ausgesendet.

20 Das Sendedatensignal DTx wird anschließend in der Sendeanordnung T durch Amplitudenumtastung auf einen Träger moduliert und als Sendesignals Tx über den Schalter SW zur Sende-Empfangs-Antenne ANT geleitet und von dieser als elektromagnetische Welle abgestrahlt. Die Trägerfrequenz ftx des Sendesignals Tx wird dabei von der Oszillatoranordnung OSC nach Maßgabe eines von dem Mikrokontroller μC abgegebenen Steuersignals Ctrl bereitgestellt. Die Oszillatoranordnung OSC stellt des weiteren auch einen Zähltakt Tclk als Zeitbasis für
25 den Zähler MC bereit, aus dem der Zähler MC durch Zählen der Zählakte Tclk den Bittakt Tbit als Zeitabstand zwischen zwei Zählerüberläufen ableitet.

30 Im Empfangsbetriebsmodus befindet sich der Schalter SW in der oberen Position. In diesem Betriebsmodus wird das über die Sende-Empfangs-Antenne ANT empfangene Empfangssignal Rx über den Schalter SW zur Empfängeranordnung R weitergeleitet und dort durch Verstärkung, Mischung mit einer von der Oszillatoranordnung OSC bereitgestellten lokalen Oszillatorfrequenz flo, Filterung

und Hüllkurvendemodulation als binäres pulswertenmoduliertes Empfangssignalsignal DRx ins Basisfrequenzband umgesetzt. Das Empfangssignalsignal DRx wird dann dem Mikrokontroller μC zur Extraktion der in ihm enthaltenen Bitinformationen zugeführt. Parallel dazu wird das Empfangssignalsignal DRx dem Register L zugeführt, welches den Stand des Zählers MC zum Zeitpunkt des Empfangs jedes einzelnen Datenbits speichert und dem Mikrokontroller μC als Zählerwert Ci zur weiteren Auswertung zur Verfügung stellt.

Innerhalb eines Kommunikationszyklus zwischen den beiden Sende-Empfangs-Stationen werden gemäß Figur 3 mindestens drei, vorzugsweise vier Datentelegramme T1, T2, T3, T4 übertragen. Zwischen den einzelnen Datentelegrammen werden jeweils identische Pausen Tpause eingehalten.

Die übertragenen Datentelegramme setzen sich gemäß Figur 2 jeweils aus drei Bitblöcken zusammen, und zwar aus einem Vorspann D0, einem Startblock D1 und einem Datenblock D2. Der Vorspann D0 besteht aus einer Reihe identischer Bits. Er hat die Aufgabe die Empfangsanordnung R in einen stabilen Betriebszustand zu bringen, z. B. durch Einregelung des Signalpegels des in einen Zwischenfrequenzbereich umgesetzten Empfangssignals Rx auf einen vorgegebenen Signalpegel. Der Startblock D1 besteht aus mindestens einem Bit und er hat die Aufgabe, den Beginn des nachfolgenden Datenblocks D2 zu markieren. Der Datenblock D2 enthält schließlich die eigentlichen zu übertragenden Datenbits. Die Anzahl der Datenbits kann von Datentelegramm zu Datentelegramm variieren, nachfolgend wird jedoch vorausgesetzt, daß sämtliche Datentelegramme in ihren Datenblöcken die gleiche Anzahl n von Datenbits enthalten.

Die Ermittlung des Abstands zwischen den Sende-Empfangs-Stationen basiert auf der Ermittlung der Signallaufzeit der zwischen den Sende-Empfangs-Stationen übertragenen Datentelegrammen. Die Ermittlung der Signallaufzeit basiert ihrerseits auf der Auswertung der Empfangszeitpunkte der einzelnen Datenbits aus dem Empfangssignal Rx.

Um diese Zeitpunkte zu detektieren, wird in der im Empfangsmodus betriebenen Sende-Empfangs-Station der Zählerstand des Zählers MC mit jeder steigenden Pulsflanke des Empfangssignals DRx, die den Empfang eines Datenbits markiert, in das Register L übernommen. Der Zähler MC wird mit einem den

Zähltakt Tclk vorgebenden Taktsignal getaktet und sein Zählerstand dabei jeweils um eins erhöht. Nach einem Überlauf des Zählerstands beginnt der Zähler MC wieder von einem Zählerstand null hochzuzählen. Die Frequenz der Taktsignale ist in beiden Sende-Empfangs-Stationen näherungsweise gleich. Der aus dem Register L übernommene Zählerstand wird als Zählerwert C_i an den Mikrokontroller μC zur Auswertung abgegeben. Auf diese Art wird jedem empfangenden Datenbit an der steigenden Pulsflanke des Empfangsdatensignals DRx ein Zeitstempel zugewiesen, entsprechend dem Zählerwert C_i des frei laufenden Zählers MC. Der Zähler MC fungiert dabei als interne Uhr der betreffenden Sende-Empfangs-Station. Er kann zur Synchronisation mit dem entsprechenden Zähler der anderen Sende-Empfangs-Station durch den Mikrokontroller μC über eine Rücksetzleitung Reset rückgesetzt werden.

Die Zählerstände der Zähler MC aus den beiden Sende-Empfangs-Stationen werden nachfolgen mit C_A und C_B bezeichnet und die entsprechenden, beim Empfang der Datenbits ermittelten Zählerwerte C_i mit C_{Ai} und C_{Bi} bezeichnet. Die Indizes A und B geben dabei an, daß der betreffende Zählerstand C_A bzw. C_B und der betreffende Zählerwert C_{Ai} bzw. C_{Bi} in der ersten bzw. zweiten Sende-Empfangs-Station ermittelt wurde.

Im allgemeinen unterscheiden sich die beiden Zählerstände C_A und C_B voneinander, weil die Zähler MC der beiden Sende-Empfangs-Stationen unabhängig voneinander laufen. Zu einem bestimmten Zeitpunkt erhält man als Unterschied einen vorzeichenbehafteten Zählerstandsoffset $\Delta C_0 = C_A - C_B$, der sich zudem mit jedem Bittakt Tbit um einen vorzeichenbehafteten Zählfehler ΔC_F erhöht oder verringert. Ursache dieses Zählfehlers ΔC_F sind die in den beiden Sende-Empfangs-Stationen nur näherungsweise gleichen Zählakte Tclk. Der Unterschied zwischen den Zählakten Tclk bewirkt ein Vorlaufen oder Nachlaufen des Zählers MC der einen Sende-Empfangs-Station gegenüber dem Zähler MC der anderen Sende-Empfangs-Station. Der Zählfehler ΔC_F gibt dabei an, um wieviel der eine Zähler MC gegenüber dem anderen pro Bittakt Tbit vor oder nachläuft.

Zur Eliminierung dieser unbekannten Unterschiede – des Zählerstandsoffsets ΔC_0 und des Zählfehlers ΔC_F – sieht das erfindungsgemäße Verfahren nun vor, daß zwischen den beiden Sende-Empfangs-Station mindestens drei, vorzugsweise vier Datentelegramme ausgetauscht werden und daß für jedes Datentele-

gramm die Summe oder der Mittelwert der während des Empfangs des betreffenden Datentelegramms ermittelten Zählerwerte berechnet wird und in einer der beiden Sende-Empfangs-Stationen verfügbar gemacht wird, welche dann die Entfernungsberechnung durchführt.

- 5 Gestartet wird das Verfahren von der ersten Sende-Empfangs-Station mit dem Aussenden eines ersten Datentelegramms. Die einzelnen Bits des Datentelegramms werden nacheinander jeweils bei einem Nulldurchgang des Zählerstands C_A ausgesendet, d. h. das Aussenden der Bits erfolgt synchron zu dem in der ersten Sende-Empfangs-Station erzeugten Bittakt T_{bit} .
- 10 Die zweite Sende-Empfangs-Station empfängt das erste Datentelegramm und setzt während des Vorspanns den eigenen Zähler MC zurück. Die Zähler MC der beiden Sende-Empfangs-Station werden somit näherungsweise synchronisiert, eine genaue Synchronisierung ist nicht erforderlich. Die Synchronisierung erfolgt während der Abstandsermittlung nur einmalig beim Empfang des ersten Datentelegramms.
- 15

In der zweiten Sende-Empfangs-Station wird dann während des Empfangs des ersten Datentelegramms für jedes empfangene Datenbit der zugehörige Zählerwert C_{Bi} ermittelt und als Zeitstempel des betreffenden Datenbits im Mikrokontroller μC abgespeichert. Für das i -te Datenbit erhält man somit als Zählerwert C_{Bi}

20 den Wert

$$C_{Bi} = -\Delta C_0 + i \cdot \Delta C_F + \Delta C_{S_{Bi}} . \quad (1)$$

- Hierbei steht ΔC_0 für den anfänglichen Zählerstandsoffset, ΔC_F für den durch die unterschiedlichen Zählakte T_{clk} bedingten Zählfehler und $\Delta C_{S_{Bi}}$ für die aus der Signallaufzeit resultierende Zählerstandsdifferenz. Das Datentelegramm enthält
- 25 insgesamt n Datenbits. Man erhält somit n Zählerwerte $C_{B1}, C_{B2}, \dots, C_{Bn}$, die im Mikrokontroller μC zu einer ersten Zählsumme S_1 summiert werden. Es gilt dann

$$S_1 = \sum_{i=1}^n C_{Bi} = -n \cdot \Delta C_0 + \sum_{i=1}^n \Delta C_{S_{Bi}} + \frac{n(n+1)}{2} \cdot \Delta C_F . \quad (2)$$

Mit dem Mittelwert der signallaufzeitabhängigen Zählerstandsdifferenz

$$\Delta \bar{C}_S = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta C_{S_{Bi}} \quad (3)$$

vereinfacht sich die Gleichung (2) zu

$$S_1 = n \cdot \left(-\Delta C_0 + \Delta \bar{C}_S + \frac{n+1}{2} \cdot \Delta C_F \right) \quad (4)$$

Die zweite Sende-Empfangs-Station beantwortet den Empfang des ersten Datentelegramms mit dem Aussenden eines zweiten Datentelegramms, welches im Datenblock Informationen über die erste Zählsumme S_1 enthält. Zwischen dem Empfang des letzten Datenbits des ersten Datentelegramms und dem Aussenden des ersten Datenbits des zweiten Datentelegramms vergehen dabei k Bittakte Tbit. Diese werden mit einem zusätzlichen Zähler gezählt, der beispielsweise im Mikrokontroller μC vorgesehen ist. Damit vergehen zwischen dem Empfang des ersten Datenbits des ersten Datentelegramms und dem Aussenden des ersten Datenbits des zweiten Datentelegramms näherungsweise $m = n + k$ Bittakte Tbit. Näherungsweise deshalb, weil die Zählung der Bittakte Tbit einmal auf den Zähler MC der einen Sende-Empfangs-Station und beim Wechsel der Senderichtung auf den Zähler MC der anderen Sende-Empfangs-Station bezogen wird. Da beide Zähler jedoch nur näherungsweise synchron laufen, ergibt sich eine nicht ganzzahlige Pause von k Bittakten. Dieser Fehler bleibt im folgenden unberücksichtigt. Für das zweite Datentelegramm erhält man aufgrund des Zählfehlers ΔC_F daher einen gegenüber dem anfänglichen Zählerstandsoffset ΔC_0 einen veränderten Zählerstandsoffset ΔC_0^I . Für diesen gilt

$$\Delta C_0^I = C_A - C_B = \Delta C_0 + m \cdot \Delta C_F. \quad (5)$$

Die einzelnen Bits des zweiten Datentelegramms werden jeweils bei einem Nulldurchgang des Zählerstands C_B , d. h. synchron zu dem Bittakt Tbit der zweiten Sende-Empfangs-Station ausgesendet. Mit der Umkehrung der Senderichtung ändert sich auch das Vorzeichen des Zählfehlers ΔC_F . Genaugenommen ändert sich auch der Betrag des Zählfehlers ΔC_F abhängig davon, von welcher der beiden Sende-Empfangs-Stationen der Zählfehlers ΔC_F beobachtet wird, d. h. in Abhängigkeit davon, ob man ihn auf den Zählerstands C_A oder C_B bezieht. Dieser kleine Betragsfehler wird nachfolgend vernachlässigt.

In der ersten Sende-Empfangs-Station wird dann analog wie in der zweiten Sende-Empfangs-Station für jedes Datenbit des zweiten Datentelegramms der zugehörige Zählerwert C_{Ai} ermittelt und als Zeitstempel des betreffenden Datenbits im Mikrokontroller μC abgespeichert. Für das i -te Datenbit des zweiten Datentelegramms erhält man somit als Zählerwert C_{Ai} den Wert

$$C_{Ai} = \Delta C_0^I + \Delta C_{SAi} - i \cdot \Delta C_F. \quad (6)$$

Es werden wiederum n Datenbits empfangen und die während des Empfangs dieser Datenbits ermittelten Zählerwerte $C_{A1}, C_{A2}, \dots, C_{An}$ zur Bildung einer zweiten Zählsumme S_2 summiert. Für die zweite Zählsumme S_2 erhält man somit:

$$\begin{aligned} S_2 &= \sum_{i=1}^n C_{Ai} = n \cdot \Delta C_0^I + n \cdot \Delta \bar{C}_S - \frac{n(n+1)}{2} \cdot \Delta C_F \\ &= n \cdot \left(\Delta C_0^I + \Delta \bar{C}_S - \frac{n+1}{2} \cdot \Delta C_F \right) \end{aligned} \quad (7)$$

Mit Gleichung (5) läßt sich diese Gleichung auch folgendermaßen schreiben:

$$S_2 = n \cdot \left[\Delta C_0 + \Delta \bar{C}_S + \left(m - \frac{n+1}{2} \right) \cdot \Delta C_F \right]. \quad (8)$$

Anschließend werden die erste und zweite Zählsumme S_1, S_2 zu einer ersten Zwischensumme S_{12} summiert. Man erhält dann aus den Gleichungen (4) und (8):

$$S_{12} = S_1 + S_2 = n \cdot (2 \cdot \Delta \bar{C}_S + m \cdot \Delta C_F). \quad (9)$$

Dieses Ergebnis ist unabhängig vom anfänglichen Zählerstandsoffset ΔC_0 . Wenn der Zählfehler ΔC_F bekannt ist, beispielsweise gleich null ist, kann aus dieser Gleichung ohne weiteres der Mittelwert der laufzeitabhängigen Zählerdifferenz $\Delta \bar{C}_S$ als Maß des gesuchten Abstands zwischen den Sende-Empfangs-Stationen berechnet werden.

Im allgemeinen ist der Zählfehler ΔC_F jedoch unbekannt. Um diese Größe aus dem Meßergebnis zu eliminieren, wird ein drittes Datentelegramm von der ersten Sende-Empfangs-Station zur zweiten Sende-Empfangs-Station übertragen. Dieses Datentelegramm enthält wiederum n Datenbits, von denen das erste nach einer Pause von k Bittakten T_{bit} ab dem Empfang des letzten Datenbits des zweiten Datentelegramms ausgesendet wird. Man erhält somit für das dritte Datentelegramm einen veränderten Zählerstandsoffset

$$\Delta C_0^{\parallel} = C_A - C_B = \Delta C_0 + 2 \cdot m \cdot \Delta C_F. \quad (10)$$

Das dritte Datentelegramm wird in gleicher Weise wie das erste Datentelegramm ausgesendet, d. h. die einzelnen Bits des dritten Datentelegramm werden ebenfalls jeweils bei einem Zählerstands $C_A = 0$ ausgesendet.

In der zweiten Sende-Empfangs-Station wird dann wie bei der Übertragung des ersten Datentelegramms während des Empfangs des dritten Datentelegramms für jedes empfangene Datenbit der zugehörige Zählerwert C_{Bi} ermittelt und als Zeitstempel des betreffenden Datenbits im Mikrokontroller μC abgespeichert. Für das i -te Datenbit des dritten Datentelegramm erhält man dann mit Gleichung (10) als Zählerwert C_{Bi} den Wert

$$C_{Bi} = -\Delta C_0^{\parallel} + \Delta C_{S_{Bi}} + i \cdot \Delta C_F \quad (11)$$

Die n während des Empfangs des dritten Datentelegramm ermittelten Zählerwerte C_{B1}, \dots, C_{Bn} werden dann zu einer dritten Zählsumme S_3 summiert. Für diese gilt:

$$S_3 = \sum_{i=1}^n C_{Bi} = n \cdot \left(-\Delta C_0^{\parallel} + \Delta \bar{C}_S + \frac{n+1}{2} \cdot \Delta C_F \right) \quad (12)$$

und mit Gleichung (10) erhält man hieraus:

$$S_3 = n \cdot \left[-\Delta C_0 + \Delta \bar{C}_S + \left(-2 \cdot m + \frac{n+1}{2} \right) \cdot \Delta C_F \right]. \quad (13)$$

Anschließend werden die zweite und dritte Zählsumme S_2 , S_3 zu einer zweiten Zwischensumme S_{23} summiert. Man erhält somit aus den Gleichungen (8) und (13):

$$S_{23} = S_2 + S_3 = n \cdot (2 \cdot \Delta \bar{C}_S - m \cdot \Delta C_F) \quad (14)$$

- 5 Die erste und zweite Zwischensumme S_{12} , S_{23} werden nun zu einer dritten Zwischensumme S_{123} summiert. Man erhält dann aus den Gleichungen (9) und (14)

$$S_{123} = S_{12} + S_{23} = S_1 + 2 \cdot S_2 + S_3 = 4 \cdot n \cdot \Delta \bar{C}_S \quad (15)$$

- 10 Diese Zwischensumme S_{123} ist unabhängig vom anfänglichen Zählerstandsoffset ΔC_0 und auch unabhängig vom Zählfehler ΔC_F . Da die Anzahl n der übertragenen Datenbits bekannt ist, kann aus dieser Gleichung ohne weiteres der Mittelwert der laufzeitabhängigen Zählerdifferenz $\Delta \bar{C}_S$ als Maß des gesuchten Abstands zwischen den Sende-Empfangs-Stationen berechnet werden. Man erhält dann

$$\Delta \bar{C}_S = \frac{S_{123}}{4 \cdot n} = \frac{S_1 + 2 S_2 + S_3}{4 \cdot n} \quad (16)$$

- 15 Die Division der Zählsummen S_1 , S_2 , S_3 durch die Anzahl n der übertragenen Bitstellen entspricht einer Mittelung der während des Empfangs des jeweiligen Datentelegramms ermittelten Zählerstände.

Mit dem bekanntem Zähltakt T_{clk} kann nun in der zweiten Sende-Empfangs-Station aus Gleichung (16) die Signallaufzeit τ wie folgt berechnet werden:

$$\tau = \Delta \bar{C}_S \cdot T_{clk} = \frac{T_{clk}}{4 \cdot n} (S_1 + 2 S_2 + S_3). \quad (17)$$

- 20 Soll die Entfernung zwischen den Sende-Empfangs-Station jedoch in der ersten Sende-Empfangs-Station ausgewertet werden, muß eine weitere Datenübertragung vorgenommen werden, um die Signallaufzeit τ oder die zur Berechnung der Signallaufzeit τ benötigten Daten der ersten Sende-Empfangs-Station zur Verfügung zu stellen.

- 5 Vorteilhafterweise wird hierzu ein viertes Datentelegramm von der zweiten Sende-Empfangs-Station zur ersten übertragen. Dieses vierte Datentelegramm enthält als Information die in der zweiten Sende-Empfangs-Station ermittelte dritte Zählsumme S_3 . Mit dem vierten Datentelegramm werden wiederum n Datenbits übertragen, wobei das erste dieser Datenbits nach einer Pause von k Bittakten T_{bit} ab dem Empfang des letzten Datenbits des vorherigen Datentelegramms ausgesendet wird. Man erhält somit für das vierte Datentelegramm einen veränderten Zählerstandsoffset

$$\Delta C_0^{III} = C_A - C_B = \Delta C_0 + 3 \cdot m \cdot \Delta C_F. \quad (18)$$

- 10 Die Übertragung des vierten Datentelegramms erfolgt in gleicher Weise wie die Übertragung des zweiten Datentelegramms. Die einzelnen Datenbits des vierten Datentelegramms werden somit ebenso wie die Datenbits des zweiten Datentelegramms jeweils bei einem Zählerstands $C_A = 0$ ausgesendet.

- 15 In der ersten Sende-Empfangs-Station wird wiederum für jedes empfangene Datenbit des vierten Datentelegramms der zugehörige Zählerwert C_{Ai} ermittelt und als Zeitstempel des betreffenden Datenbits im Mikrokontroller μC abgespeichert. Für das i -te Datenbit des vierten Datentelegramms erhält man dann mit Gleichung (18) als Zählerwert C_{Ai} den Wert

$$C_{Ai} = \Delta C_0^{III} + \Delta C_{SAi} - i \cdot \Delta C_F \quad (19)$$

- 20 Die n während des Empfangs des vierten Datentelegramms ermittelten Zählerwerte C_{A1}, \dots, C_{An} werden dann zu einer vierten Zählsumme S_4 summiert. Für diese gilt:

$$S_4 = \sum_{i=1}^n C_{Ai} = n \cdot \left(\Delta C_0^{III} + \Delta \bar{C}_S - \frac{n+1}{2} \cdot \Delta C_F \right) \quad (20)$$

und mit Gleichung (18) erhält man hieraus:

25
$$S_4 = n \cdot \left[\Delta C_0 + \Delta \bar{C}_S + \left(3 \cdot m - \frac{n+1}{2} \right) \cdot \Delta C_F \right]. \quad (21)$$

Anschließend werden die dritte und vierte Zählsumme S_3 , S_4 zu einer vierten Zwischensumme S_{34} summiert

$$S_{34} = S_3 + S_4 = n \cdot (2 \cdot \Delta \bar{C}_S + m \cdot \Delta C_F), \quad (22)$$

5 die zweite und vierte Zwischensumme S_{23} , S_{34} zu einer fünften Zwischensumme S_{234} summiert

$$S_{234} = S_{23} + S_{34} = 4 \cdot n \cdot \Delta \bar{C}_S \quad (23)$$

und die dritte und fünfte Zwischensumme S_{123} , S_{234} zu einer Summenzahl S_S summiert

$$S_S = S_{123} + S_{234} = 8 \cdot n \cdot \Delta \bar{C}_S. \quad (24)$$

10 Für die Signallaufzeit τ gilt dann:

$$\tau = \Delta \bar{C}_S \cdot T_{clk} = \frac{T_{clk}}{8 \cdot n} \cdot S_S \quad (25)$$

Die Summenzahl S_S ist somit ein Maß für die Signallaufzeit τ der zwischen den Sende-Empfangs-Stationen übertragenen Signale und aufgrund der Proportionalität zwischen der Signallaufzeit τ und dem Abstand zwischen den Sende-
15 Empfangs-Stationen auch ein Maß dieses Abstands. Sie läßt sich aus den Zählsummen S_1 , S_2 , S_3 , S_4 auch durch eine gewichtete Summation wie folgt berechnen:

$$S_S = S_1 + 3 \cdot S_2 + 3 \cdot S_3 + S_4. \quad (26)$$

Gleichung (25) läßt sich damit umschreiben in

$$20 \quad \tau = T_{clk} \left[\frac{1}{8} \cdot \left(\frac{S_1}{n} + 3 \frac{S_2}{n} + 3 \frac{S_3}{n} + \frac{S_4}{n} \right) \right] \quad (27)$$

Mit der Abkürzung

$$\bar{C}_i = \frac{S_i}{n} \quad (28)$$

für den Mittelwert über diejenigen Zählerwerte C_i , die der Ermittlung der i -ten Zählsumme S_i zugrundegelegt werden, erhält man dann

$$\tau = T_{clk} \frac{\bar{C}_1 + 3 \bar{C}_2 + 3 \bar{C}_3 + \bar{C}_4}{8} \quad (29)$$

- 5 Diese Gleichung gilt für den Fall, daß in beide Richtungen die gleiche Anzahl n von Datenbits übertragen wird. Trifft diese Bedingung nicht zu, sind die Faktoren, mit denen die Mittelwerte \bar{C}_1 , \bar{C}_2 , \bar{C}_3 , \bar{C}_4 gewichtet werden, entsprechend anzupassen.

- 10 Im vorliegenden Ausführungsbeispiel endet das Meßverfahren nach der Übertragung des vierten Datentelegramms. Es läßt sich jedoch dahingehend erweitern, daß mehr als vier Datentelegramme der Abstandsermittlung oder Signallaufzeitermittlung zugrundegelegt werden. Die Gleichungen für die i -te Zählsumme S_i und den i -ten Mittelwert \bar{C}_i lassen sich dann wie folgt verallgemeinern:

$$S_i = n \cdot \left[(-1)^i \cdot \Delta C_0 + \Delta \bar{C}_s + (-1)^i \left((i-1) \cdot m - \frac{n+1}{2} \right) \cdot \Delta C_F \right], \quad (30)$$

$$15 \quad \bar{C}_i = \frac{S_i}{n} = \left[(-1)^i \cdot \Delta C_0 + \Delta \bar{C}_s + (-1)^i \left((i-1) \cdot m - \frac{n+1}{2} \right) \cdot \Delta C_F \right]. \quad (31)$$

Soll die Signallaufzeitermittlung auf der Grundlage von j Datentelegrammen erfolgen, ist Gleichung (29) dann wie folgt zu modifizieren:

$$\tau = T_{clk} \frac{g_1 \cdot \bar{C}_1 + g_2 \cdot \bar{C}_2 + \dots + g_j \cdot \bar{C}_j}{g_1 + g_2 + \dots + g_j} \quad (32)$$

- 20 Hierbei stellen g_1, g_2, \dots, g_j Gewichtungsfaktoren dar, mit denen der jeweilige Mittelwert \bar{C}_1 bzw. \bar{C}_2 bzw. $\dots \bar{C}_j$ gewichtet wird. Die Gewichtungsfaktoren g_1, g_2, \dots, g_j sind dabei so zu wählen, daß die Signallaufzeit τ unabhängig vom Zählerstandsoffset ΔC_0 und vom Zählfehler ΔC_F ist. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die Reihe der Gewichtungsfaktoren g_1, g_2, \dots, g_j gleich einer Reihe von so-

nannten Binomialkoeffizienten ist, d. h. wenn für den i-ten Gewichtungsfaktor g_i gilt:

$$g_i = \binom{j-1}{i-1} = \frac{(j-1)!}{(i-1)! \cdot (j-i)!} \quad (33)$$

Für die Summe der Gewichtungsfaktoren g_1, g_2, \dots, g_j gilt dann:

$$5 \quad g_1 + g_2 + \dots + g_j = 2^{j-1} \quad (34)$$

Wenn alle der Abstandsermittlung zugrundegelegten Datentelegramme die gleiche Anzahl n von Datenbits aufweisen, läßt sich Gleichung (32) mit den Gleichungen (28) und (34) wie folgt umformen:

$$\tau = T_{clk} \frac{g_1 \cdot S_1 + g_2 \cdot S_2 + \dots + g_j \cdot S_j}{n \cdot (g_1 + g_2 + \dots + g_j)} = T_{clk} \frac{S_s}{n \cdot 2^{j-1}} \quad (35)$$

10 Die Signallaufzeit τ ist damit auch bei der Auswertung von mehr als vier Datentelegrammen proportional zur Summenzahl S_s , welche sich nun gemäß der Gleichung

$$S_s = g_1 \cdot S_1 + g_2 \cdot S_2 + \dots + g_j \cdot S_j \quad (36)$$

15 durch gewichtete Summation aus den Zählsummen S_1, S_2, \dots, S_j und den Binomialkoeffizienten g_1, g_2, \dots, g_j berechnen läßt.

Die Signallaufzeit τ setzt sich zusammen aus der Laufzeit auf der Übertragungsstrecke (Hin- und Rückstrecke) und aus Gruppenlaufzeiten in den Bauteilen der Sende-Empfangs-Stationen. Die Gruppenlaufzeiten lassen sich messen, so daß aus der ermittelten Signallaufzeit τ die Laufzeit auf der Übertragungsstrecke und hieraus der Abstand zwischen den Sende-Empfangs-Stationen berechnet werden kann.

20

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich bestens für den Einsatz in einem schlüssellosen Schließsystem für Kraftfahrzeuge. Bei einem derartigen Schließsystem ist im Kraftfahrzeug eine Basisstation als Auswerteeinheit vorgesehen,

die über eine Funkverbindung mit tragbaren Schlüsselmodulen kommuniziert. Die Funkverbindung zwischen der Basisstation und einem Schlüsselmodul wird dabei über zwei der in Figur 1 gezeigten Sende-Empfangs-Stationen aufgebaut. Diese sind Bestandteil der Basisstation bzw. des mit der Basisstation kommunizierenden Schlüsselmoduls. Die Funkverbindung kann dabei unbemerkt vom berechtigten Benutzer beispielsweise durch Betätigen eines Türgriffs aufgebaut werden. Über die Funkverbindung werden Datentelegramme mit Daten ausgetauscht, insbesondere werden die in der Sende-Empfangs-Station des Schlüsselmoduls ermittelten Zählsummen sowie eine im Schlüsselmodul gespeicherte Identifikationsnummer zur Basisstation übertragen. Die Übertragung der Identifikationsnummer erfolgt dabei vorteilhafterweise in verschlüsselter Form. Die Basisstation wertet die Identifikationsnummer aus und berechnet aus den in ihr vorliegenden Zählsummen den Abstand zum Schlüsselmodul. Sie gibt anschließend das Kraftfahrzeug zur Benutzung frei, wenn sie anhand der Identifikationsnummer erkennt, daß dem Schlüsselmodul eine Zugangsberechtigung zugeordnet ist, und wenn das Schlüsselmodul sich innerhalb eines bestimmten Abstands zur Basisstation befindet.

Durch die Berücksichtigung des Abstands wird die Sicherheit des Schließsystems erhöht, weil der Zugang zum Kraftfahrzeug auch bei korrekter Identifikationsnummer verhindert wird, wenn die Funkverbindung zwischen dem Schlüsselmodul und der Basisstation durch Unbefugte, unbemerkt vom berechtigten Benutzer, über Relaisstationen aufgebaut wird.

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Ermittlung des Abstands zwischen zwei Sende-Empfangs-Stationen, die durch Aussenden von mindestens ein Datenbit aufweisenden Datentelegrammen miteinander kommunizieren, dadurch gekennzeichnet, daß
- mindestens drei Datentelegramme abwechselnd zwischen den Sende-Empfangs-Stationen übertragen werden,
 - 10 - jedem Datenbit der mindestens drei Datentelegramme beim Empfang des betreffenden Datentelegramms ein Zählerwert (C_{Ai} , C_{Bi}) zugewiesen wird, der dem Zählerstand eines freilaufenden Zählers (MC) zum Zeitpunkt des Empfangs des jeweiligen Datenbits entspricht,
 - jedem der mindestens drei Datentelegramme eine Zählsumme (S_1 , S_2 , S_3 , ..., S_j) zugewiesen wird, die der Summe oder dem Mittelwert der während des
15 Empfangs des betreffenden Datentelegramm ermittelten Zählerwerte (C_{Ai} , C_{Bi}) entspricht,
 - und eine Summenzahl (S_S) durch gewichtete Summation der Zählsummen (S_1 , S_2 , S_3 , S_4) als Maß des Abstands zwischen den Sende-Empfangs-Stationen gebildet wird.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zählsummen (S_1 , S_2 , S_3 , ..., S_j) zur Ermittlung der Summenzahl (S_S) jeweils mit einem ihrer Reihenfolge entsprechenden Binomialkoeffizienten gewichtet werden.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß Informationen über die in der einen Sende-Empfangs-Station ermittelten Zählsummen (S_1 , S_3) als Datentelegramm zur anderen Sende-Empfangs-Station übertragen werden.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vier Datentelegramme zur Abstandsermittlung ausgewertet werden.
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Datentelegramme die gleiche Anzahl von Datenbits aufweisen.
- 5 6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den übertragenen Datentelegrammen jeweils eine Pause einer vorgegebenen Dauer eingehalten wird.
7. Sende-Empfangs-Station zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorherigen Ansprüche, mit
- 10
 - einer Sende-Empfangsantenne (ANT) zum Empfangen eines Empfangssignals (Rx) und zum Aussenden eines Sendesignals (Tx),
 - einer Empfängeranordnung (R) zur Frequenzumsetzung des empfangenen Empfangssignals (Rx) und Detektion von Datenbits aus dem Empfangssignal (Rx),
- 15
 - einer Senderanordnung (T) zum Erzeugen des Sendesignals (Tx) aus einer Folge von in einem vorgegebenen Bittakt (Tbit) auszusendenden Datenbits,
 - einem in einem vorgegebenen Zeittakt (Tclk) getakteten Zähler (MC) zum Erzeugen des Bittakts (Tbit) als Zeitabstand zwischen aufeinanderfolgenden Zählerstandsüberläufen,
- 20
 - einem Register (L) zur Übernahme des Zählerstands des Zählers (MC) jeweils zum Zeitpunkt des Empfangs eines Datenbits und Bereitstellung des übernommenen Zählerstands als Zählerwert (C_i).
- 25 8. Sende-Empfangs-Station nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein nach Maßgabe des Bittakts (Tbit) getakteter Pulsweitenmodulator (PWM) zur Erzeugung eines binären Sendedatensignals (DTx) aus den auszusendenden Datenbits vorgesehen ist und daß das Sendedatensignal (DTx) der Senderanordnung (T) zur Erzeugung des Sendesignals (Tx) zugeführt ist.

9. Sende-Empfangs-Station nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Schalter (SW) vorgesehen ist, über den die Sende-Empfangs-Antenne (ANT) alternativ mit der Empfängeranordnung (R) oder der Senderanordnung (T) leitend verbunden ist.
- 5 10. Sende-Empfangs-Station nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß eine digitale Steuereinheit, insbesondere ein Mikrokontroller (μ C), zur Auswertung der Zählerwerte (C_i) und Bereitstellung der auszusendenden Bitinformationen vorgesehen ist.
- 10 11. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6 in einem schlüssellosen Schließsystem für Kraftfahrzeuge zur Ermittlung des Abstands zwischen einer im Kraftfahrzeug vorgesehenen ersten Sende-Empfangs-Station und einer in einem Schlüsselmodul vorgesehenen zweiten Sende-Empfangs-Station.

Zusammenfassung

5 1. Verfahren zur Ermittlung des Abstands zwischen zwei Sende-Empfangs-Stationen und Sende-Empfangs-Stationen zur Durchführung des Verfahrens

10 2.1. Sende-Empfangs-Stationen werden in der Fahrzeugtechnik üblicherweise in schlüssellosen Schließsystemen als elektronisches Schlüsselmodul bzw. Auswerteeinheit zur Identifizierung des Schlüsselmoduls eingesetzt. Die Deaktivierung des Schließsystems wird dabei verhindert, wenn das anhand einer eindeutigen Identifikationsnummer der Auswerteeinheit zugeordnete Schlüsselmodul sich nicht im Nahbereich der Auswerteeinheit befindet. Die Kommunikation zwischen der Auswerteeinheit und dem Schlüsselmodul erfolgt durch Übertragung von Datentelegrammen zwischen den Sende-Empfangs-Stationen. Das neue Verfahren soll die Ermittlung des Abstands zwischen den Sende-Empfangs-Stationen auf einfache Weise ermöglichen.

15

20 2.2. Beim neuen Verfahren werden mindestens drei Datentelegramme abwechselnd zwischen den Sende-Empfangs-Stationen übertragen, jedem Datenbit dieser Datentelegramme beim Empfang des betreffenden Datentelegramms ein Zählerwert entsprechend dem Zählerstand eines freilaufenden Zählers zum Zeitpunkt des Empfangs des jeweiligen Datenbits zugewiesen, jedem Datentelegramm eine Zählsumme als Summe oder Mittelwert der während des Empfangs des betreffenden Datentelegramm ermittelten Zählerwerte zugewiesen und eine Summenzahl durch gewichtete Summation der Zählsummen als Maß des Abstands zwischen den Sende-Empfangs-Stationen gebildet.